

les Cahiers de la Recherche agronomique,
no 24, 1967 : Congrès de pédologie méditerranéenne
1966. Madrid. Excursion au Maroc. T. 5. 2^e partie :
le Maroc marocain, chap. III, p. 89-101.

CHAPITRE III

LES SOLS DU MAROC

P. BILLAUX et G. BRYSSINE

I. Historique de la pédologie marocaine

Il est possible de diviser l'histoire des recherches pédologiques au Maroc en plusieurs étapes.

— 1. Avant 1914, à proprement parler, il n'y avait pas d'études systématiques des sols marocains. Toutefois, plusieurs personnalités scientifiques qui passaient au Maroc à cette époque, s'intéressèrent, soit comme géographes, soit comme géologues, soit comme agronomes, aux terres du pays qu'ils visitaient. Parmi ces auteurs nous pouvons citer T. FISCHER, A. BRIVES, L. GENTIL, P. LEMOINE, MOREAU, H. BREUIL, J. DANTIN-CEREDA. Certains de leurs travaux, notamment ceux d'A. BRIVES ou de L. GENTIL, présentent encore de l'intérêt de nos jours.

— 2. C'est de l'année 1914 que date le début des recherches sur les sols effectuées au Maroc, avec la fondation du Laboratoire Officiel de Chimie de Casablanca. Dès sa création, ce laboratoire procédait à de nombreuses analyses de terres suivant les méthodes dites « agrologiques », ce qui permit aux chimistes qui y travaillaient (L. CHAUVÉAU, J. VALIN) de présenter, en 1934, au Congrès de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences (A.F.A.S.), une première esquisse de la carte « agrologique » du Maroc à très petite échelle, basée sur la composition granulométrique des terres.

27 JAN 1970

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 13703

De son côté, le Centre de Recherches Agronomiques de Rabat entreprenait, sous l'impulsion d'E. MIÈGE et avec le concours des inspecteurs régionaux d'agriculture, l'établissement des cartes « écologiques ». Ces cartes manuscrites, à différentes échelles (1/200 000-1/500 000) utilisaient les noms vernaculaires des sols de différentes régions agricoles.

Parallèlement à cette activité officielle des services publics, des chercheurs, soit résidant au Maroc, soit venus de l'étranger, continuaient à s'intéresser aux sols du pays. Mais, contrairement à leurs prédécesseurs, ils essayèrent d'appliquer les méthodes modernes de la pédologie, science qui avait déjà pris en Europe une certaine importance. Parmi les missionnaires, nous pouvons citer les noms de Mlle V. MALYCHEFF, du Professeur H. OUDIN et de E.H. DEL VILLAR. Ce dernier a présenté en 1934 la première carte générale des sols du Maroc.

De leur côté, les chercheurs travaillant au Maroc et appartenant à diverses disciplines s'intéressèrent aussi aux problèmes de pédologie. On peut citer A. MERCIER, G. CARLE, G. TROCHAIN, J. BOURCART, L. EMBERGER, M. ZABORSKI. Ces deux derniers sont les auteurs du premier travail à caractère vraiment pédologique, traitant de la « transformation des grès de Rabat en sol climatique »

Devant l'intérêt que suscitaient ces travaux, P. BOUDY et E. MIÈGE ont tenté de constituer, en 1937, une « Association Marocaine pour l'Etude des Sols » (A M E S) qui connut un succès rapide et qui groupait avant la guerre (1939) plus de 150 membres (géologues, ingénieurs, chimistes, agronomes, agriculteurs...)

— 3. A partir de 1936, le Centre de Recherches Agronomiques de Rabat s'organisa pour entreprendre l'étude des sols, suivant les méthodes de la pédologie et recruta un pédologue (G. BRYSSINE). L'intérêt se portait surtout vers la reconnaissance des sols des périmètres d'irrigation, dont l'équipement débutait vers cette époque, comme la région de Sidi Slimane, dans le Gharb et la plaine des Beni Amir, dans le Tadla. On procéda surtout à la description des profils et à l'analyse des échantillons en vue de caractériser les types de sol.

Parallèlement, des recherches stationnaires furent entreprises, soit dans des cases lysimétriques, pour étudier le régime

hydrique de différents sols du Maroc, soit dans des buses, pour établir l'effet des eaux salées sur les sols du Tadla. Dans ce but, un laboratoire d'étude des sols a été créé au Centre de Recherches Agronomiques de Rabat en août 1939.

A la même époque, E.H. DEL VILLAR s'installa au Maroc pour continuer ses travaux sur les sols de ce pays et, en particulier, sur les sols des deux grands périmètres cités plus haut. En 1936, il présenta au Congrès d'Oxford une note sur la classification des sols.

La guerre de 1939-1944 mit un frein à toutes ces activités. Toutefois, malgré les difficultés matérielles, les prospections ainsi que des études au laboratoire continuèrent. Dès 1942 la reconnaissance des sols du futur périmètre irrigable des Doukkala a été entamée (G. GRILLOT et G. BRYSSINE).

A la fin des hostilités, la prospection des sols fut reprise sur une échelle plus vaste. En effet, la mise en valeur du pays, la création de nombreux et importants périmètres irrigables, l'accroissement nécessaire de la production agricole, la modernisation du paysan marocain, tout cela demandait que les sols soient préalablement reconnus et étudiés.

Au cours des années 1945-51, la Section d'Etude des Sols (ex-Laboratoire d'Etudes des Sols) du Centre de Recherches Agronomiques de Rabat, a prospecté, sous la direction de G. GRILLOT, les sols de la plaine des Triffa dans le Maroc oriental (G. BRYSSINE), le périmètre irrigable du Tadla (G. BRYSSINE et R. JAMINET), les périmètres des Doukkala (G. BRYSSINE et R. JAMINET) et d'El Kelaâ des Sraghna (G. BRYSSINE), ainsi que le Haouz de Marrakech (G. BRYSSINE et R. JAMINET) et le périmètre de l'Oued Massa au S du Souss. L'étude du régime hydrique des sols fut poursuivie (G. GRILLOT et G. BRYSSINE).

A l'Institut Scientifique Chérifien, E.H. DEL VILLAR réalisa un important travail cartographique, non encore publié.

Fin 1946, le C.N.R.S. détacha auprès du Centre de Recherches Agronomiques le Professeur W. CAVALLAR en vue d'établir la carte des sols du Maroc au 1/200 000. Pendant son séjour W. CAVALLAR réalisa une carte générale à l'échelle du 1/1 500 000 et une maquette de la carte de la région de Rabat au 1/200 000.

Vers la même époque (1946-1951), différents services de l'Administration, autres que le Centre de Recherches Agronomiques,

procédèrent de leur côté à des études de sols. Tels sont le Paysannat, pour lequel G. GAUCHER travailla dans la région des Triffa et plus tard dans le Tadla, la Division de la Mise en Valeur et du Génie Rural (DMVGR), les Travaux Publics. Ils confièrent ces études à des organismes privés, tels que la Société Générale de Travaux d'Irrigation au Maroc (SOGETIM) : travaux de S. TOUJAN dans le Tadla, de J. SOLDINI dans le Gharb et plus tard dans le Souss et dans le Périmètre de l'oued Massa.

En 1949, l'ancienne Association Marocaine pour l'étude des sols devient la « Section de Pédologie » de la Société des Sciences Naturelles du Maroc, sous la présidence de G. GRILLOT d'abord et de G. BRYSSINE ensuite. De 1950 à 1959, elle a fait paraître 14 tomes de ses travaux.

— 4. A partir de 1950 les travaux de Pédologie s'intensifient au Maroc. Ils changent en même temps de caractère : les études de reconnaissance font place à des prospections systématiques plus détaillées. Le rôle des organismes privés, comme la SOGETIM, le Groupement Technique pour l'Aménagement des Terres (G.T.A.T.), et d'autres à qui les services publics confient les travaux de prospection, est assez important. D'une part, ils procèdent aux études directes de différents périmètres et d'autre part, ils détachent leurs ingénieurs auprès des services intéressés (au Centre de Recherches Agronomiques, notamment).

Ainsi, à cette époque, le Centre de Recherches Agronomiques continue sa reconnaissance des sols de différentes régions du Maroc : Rif et Pré-Rif par J.P. GILBERT et H. QUAIX de la SOGETIM, Gharb par P. DIVOUX du même organisme. En outre, il passe aux études plus détaillées de certaines régions : périmètre de Taroudant (R. JAMINET), zone côtière maraîchère (P. ROEDERER), plaines de Taddert et de Guercif (P. LANGLE et J. WILBERT de la SOGETIM), périmètre des Doukkala (A. FEODOROFF et J. WILBERT), Tadla (M. TAHIRI, A. ALAOUI, H. MAOUI).

A la même période, une collaboration plus étroite entre les pédologues et les agropédologues a vu le jour, et, sous l'impulsion de G. BRYSSINE, W. HUTTER, J. MAES, C. MICHEL et J. DECROUX, une nouvelle orientation a été donnée à l'étude des techniques culturales, avec comme base les données pédologiques. En outre, des recherches sur les propriétés physiques des sols ont été entreprises (G. BRYSSINE).

A la Station de Recherches Forestières les travaux de G. DE BEAUCORPS d'abord, puis, à partir de 1959, ceux de B. LÉPOUTRE (de l'ORSTOM) sur la régénération de la Cédraie et de la Subéraie, contribuent à la connaissance des sols sous forêt et, en particulier, mettent en relief l'importance du régime hydrique pour la croissance et la reproduction des essences forestières.

Diverses administrations (Division de la Mise en Valeur et du Génie Rural, Travaux Publics, Eaux et Forêts) font également faire des études d'agronomie générale ou d'agropédologie, en vue de l'irrigation ou de la conservation des sols. Ces études sont généralement confiées à la SOGETIM ; elles se situent dans les régions suivantes :

Tadla (D. VELLUTINI, B. HEUSCH, M. ICOLE) ;

Saïs (S. TOUJAN) ;

Moyenne Moulouya (cartes écologiques : A. PUJOS) ;

Haouz de Marrakech (M. ENIKEFF, E. COHEN, F. NASSE) ;

Souss (J.C. RENON, F. NASSE) ;

Tétouan (D. VELLUTINI, J. GASC) ;

Settat (M. QUENOT) ;

Moyen-Atlas (A. PUJOS, B. HEUSCH) ;

Rif (A. PUJOS) ;

Doukkala (A. PUJOS, M. QUENOT) ;

Gharb (J.C. LEROY) ;

Triffa (B. HEUSCH) ;

Bassin des cueds Dadès et Draâ (M. ENIKEFF, B. PLOUY et J. GASC).

Citons aussi les travaux sur le Souss (M.A. CUENOT) et sur la région de Meknès (R. LAGARDE).

Des études pédologiques sont faites aussi dans le cadre de l'établissement de cartes phyto-écologiques ; ces cartes sont établies par des chercheurs du C.N.R.S. (France) détachés auprès de certains services de l'agriculture : Division de la Mise en

Valeur et du Génie Rural d'abord, Institut National de la Recherche Agronomique ensuite. Dans ce cadre, se placent les travaux de T. IONESCO, avec I. PERSOGLIO, sur les Doukkala et la zone côtière atlantique.

En 1954, la Division de la Mise en Valeur et du Génie Rural signe une convention avec l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer de Paris (ORSTOM) pour l'étude des sols de plusieurs secteurs irrigables. Un nombre important de cartographies pédologiques est alors réalisé, sous la direction de G. AUBERT. Ces études, à échelle moyenne (du 1/100 000 au 1/20 000) sont situées dans trois régions :

Basse Moulouya (A. CHEVRON-VILLETTE, PH. MAHLER, J.L. GEOFFROY, A. RUELLAN) ;

Haouz de Marrakech (S. TOUJAN, PH. MAHLER, J. CONCARET, E. BEN DRISS) ;

Doukkala (A. CHEVRON-VILLETTE, S. TOUJAN).

— 5. En 1961, l'Office National des Irrigations (ONI) nouvellement créé prend en charge l'étude systématique des possibilités de mise en valeur par irrigation. Les études pédologiques sont alors faites dans le cadre de Missions d'études générales qui regroupent des spécialistes de diverses disciplines : hydrogéologie, hydrologie, pédologie, agronomie, sociologie, économie, génie civil, et qui préparent des avant-projets d'aménagement intéressant la plupart des régions naturelles irrigables du Maroc.

L'ONI confie ses études de sol à une mission pédologique de l'ORSTOM. De nombreux travaux de cartographie des sols à échelle variée (du 1/100 000 au 1/5 000) sont alors faits, soit directement par les pédologues de l'ORSTOM, soit sous leur contrôle, par diverses sociétés privées. En même temps que la cartographie pédologique ces travaux sont orientés vers la réalisation de cartes d'aptitude à l'irrigation ou aux diverses cultures. Ces études intéressent les régions suivantes :

Basse Moulouya (A. RUELLAN, C. MASSONI de l'ORSTOM ; J.F. VIEUXTEMPS de la SCET ; J. GASC, J. HUBSCHMAN et collab. de la SOGETIM) ;

Haouz de Marrakech (G. PALLIX, J. PHILLIP, P. BRUGUIERE de la SCET) ;

Doukkala (J.L. GEOFFROY de l'ORSTOM ; H. MELONI de la Sté ELECTRO-CONSULT ; J. BOURALY et J. PRUNIER de la SCET ; E. BEN DRISS et A. ADNANE) ;

Tadla (D. VELLUTINI, B. HEUSCH, J.C. RENON de la SOGETIM ; P. BILLAUX et C. MASSONI de l'ORSTOM ; J.H. BOUMANS et collab. de la Sté GRONTMIJ ; C. STORK) ;

Bassin du Loukkos (P. DESSUS, G. HERMANT, P. BRUGUIERES de la SCET) ;

Tafilalt (O. JOVANOVIC, R. RADANOVIC, B. STEFANOFIC de la Sté ENERGOPROJEKT) ;

Arrière-pays de Tanger (G. MIGNONI de la Sté ITALCONSULT).

A la suite des cartographies pédologiques, le Centre d'Expérimentation du Génie Rural, repris par l'ONI, étend ses activités à l'étude en stations expérimentales du dessalage et de la désalcalisation et au contrôle de l'évolution des sols irrigués. Citons en particulier les études faites dans le Zebra (A. RUELLAN).

Enfin, d'importantes études pédologiques ont été réalisées dans le cadre des Missions d'études générales confiées à la F.A.O.

— Mission DERRO dans le Rif Occidental, dans le cadre de l'Office National de la Modernisation Rurale (P. AVRIL).

— Projet du Sebou, dans le cadre de l'ONI, puis du Ministère de l'Agriculture, avec en particulier deux zones focales ; le Gharb (J. EHRWEIN, B. HEUSCH, G. PALLIX, P. DESSUS) et la région de Fes-Meknes (D. COELUS, P. DESSUS).

— 6. A l'initiative de N. EL GHORFI, la Sous-Direction de la Recherche Agronomique, devenue par la suite l'Institut National de la Recherche Agronomique, a entrepris de nouveau en 1958 l'établissement de la carte générale des sols à l'échelle du 1/200 000. Ce travail a débuté par la prospection pédologique systématique de différentes régions naturelles du Maroc atlantique

Rif (J. WILBERT), Pré-Rif (G. PAJOT et M. ICOLE),
Région de Meknes-Fes (G. MISSANTE, R. WATTEUW, G. PAJOT),

Mamora (H. FARAJ),
 Région de Rabat et plateau central (R. WATTEEUW),
 Chaouïa et Doukkala (J. WILBERT),
 Plateau des phosphates (M. ICOLE),
 Tadla et Bahira (G. MISSANTE),
 SOUSS (R. WATTEEUW).

Ces travaux sont en cours d'exécution.

Au cours de la dernière décade on voit apparaître les premiers travaux sur la microbiologie des sols au Maroc (M^{me} I. BRYSSINE, A. SASSON).

Enfin, en 1962, un laboratoire de minéralogie des sols est organisé à l'INRA et commence, en collaboration avec le laboratoire de physique du Service d'Etudes des Gîtes Minéraux l'étude minéralogique des argiles (U. SCHOEN, C. HESS).

II. La classification des sols

Les premiers chercheurs (géographes, géologues, agronomes) qui visitèrent le Maroc à la fin du siècle dernier, et au début de ce siècle, ont utilisé les noms vernaculaires des fellahs marocains pour désigner les sols du pays. Tels sont les noms de *tirs* (sol lourd argileux, de couleur foncée), *hamri* (sol rouge, généralement argileux), *r'mel* (sable), *harch* ou *harroucha* (sol caillouteux), *dess* ou *dehs* (alluvions), *faïd* (alluvions limoneuses des Doukkala), *merzag* (sol sableux à concrétions ferrugineuses), etc... On rencontre ces appellations dans les travaux de A. BRIVES, L. GENTIL, et autres.

Ces noms ont été utilisés aussi par les agriculteurs européens qui se sont installés dans le pays et par les agronomes des services officiels. Les légendes des « cartes écologiques », établies en 1935/36, sont basées sur ces appellations. Sous l'impulsion de E. MIÈGE alors Directeur du Centre de Recherches Agronomiques de Rabat, G. BRYSSINE a entrepris des travaux pour rechercher la correspondance entre ces noms vernaculaires et les termes des classifications génétiques ou « agrologiques », mais la guerre a arrêté ces recherches.

Dès la création du Laboratoire Officiel de Chimie Agricole et Industrielle de Casablanca, les chimistes de ce laboratoire ont essayé de classer les terres analysées suivant leur composition élémentaire. Cette classification « agrologique » a été

largement employée par les agronomes, officiels ou privés, dans leurs rapports. Elle a été utilisée par J. VALIN dans sa « Carte des sols du Maroc ».

De son côté, E. HUGUET DEL VILLAR (1951), a proposé une classification dont la nomenclature voulait être d'utilisation universelle. L'auteur distinguait d'abord deux grand types de sol : type homocyclique « à métabolisme simple lié à un chimisme déterminé » et type « hétérocyclique à métabolisme variable ». (J.P. DUPONT 1951).

Le premier type est divisé en cycles (sial ferrique, calcaire et sodique) et en secteurs (oxyhumique, siallitique, sialloferrique et allitique dans le cycle sialferrique ; salin et alcalin, dans le cycle sodique).

Les caractères chimiques du deuxième type (hétérocyclique) étant mixtes et variables, il faut avoir recours au régime hydrique et à la localisation des processus dans le profil pour pouvoir individualiser les sols et les réunir en groupes.

H. DEL VILLAR a beaucoup insisté sur l'importance du régime hydrique du sol : régime aéropédique (plus ou moins oxygéné, où l'eau et l'humidité se partagent les interstices du sol) et régime hydropédique (où « le milieu pédogénique est l'eau »). Il divisait les processus de formation du sol en processus épipédiques, dus aux facteurs de surface, et hypopédiques d'origine profonde.

Les éléments suivants entraient dans sa classification :

le *stade*, ou moment dans l'évolution (prématuré, mûr et posthume) ;

la *phase* (naturelle ou agricole) ;

la nature de l'*humus*, et les *horizons* du profil avec leurs caractères analytiques.

La classification de E. HUGUET DEL VILLAR était essentiellement génétique et donnait une large place à la nature et à l'origine des facteurs de pédogénèse. A ce titre, elle garde encore un grand intérêt.

Pendant son séjour au Maroc, W. CAVALLAR a appliqué directement, pour ses travaux, les principes et les noms de la classification génétique russe (W. CAVALLAR, 1950).

La position de G. BRYSSINE en matière de classification est beaucoup plus nuancée. Il reconnaît qu'il est difficile de faire entrer les sols de la zone méditerranéenne dans les cadres des classifications actuelles. Ils font partie d'un ou de plusieurs types spéciaux de formation, d'ailleurs encore mal définis, des différents « sols rouges méditerranéens » (G. BRYSSINE, 1954). En attendant de pouvoir préciser ces types de formation, il leur donne provisoirement, soit des dénominations classiques, en se rappelant qu'ils appartiennent à la « série des sols rouges » d'après l'énergie climatique de transformation des roches (G. BRYSSINE, 1949), soit des noms vernaculaires, en précisant leurs caractères pédologiques.

Comme base de classification il proposa les facteurs de la pédogénèse, en distinguant, d'abord les sols de *pédogénèse interne* et les sols de *pédogénèse externe*, c'est-à-dire d'apport ou d'érosion (G. BRYSSINE, 1956). Les facteurs de la pédogénèse sont divisés en 2 groupes : facteurs principaux (climat, végétation, régime hydrique), facteurs secondaires (roche-mère, relief, eaux souterraines, âge, action de l'homme).

A partir de 1950 surtout, et, en partie, sous l'influence des géographes et géologues qui étudiaient le Quaternaire, la plupart des pédologues du Maroc ont cherché à utiliser systématiquement, pour leurs cartographies, les données et les méthodes de la géomorphologie. On a ainsi mis en évidence les relations qui existent entre, d'une part, les types de sol, d'autre part, les formes du relief et l'âge des sédiments, en particulier dans les plaines alluviales. Les notions de sols fossiles, de paléopédogénèse, d'optimum climatique ancien pour la formation de certains types de sol (G. GAUCHER, 1948), ont pris une grande importance pour l'interprétation des observations de terrain (A. PUJOS, 1957). La classification des sols a été elle-même marquée par ces idées nouvelles, et dans certaines cartes les sols étaient classés d'après l'âge quaternaire de leur roche-mère.

Aujourd'hui, les idées sur les climats anciens du Quaternaire et sur les pédogénèses fossiles qui leur correspondraient sont un peu différentes, plus nuancées (voir Chapitre I de la 1^{re} partie) *, mais les pédologues du Maroc ont gardé l'habitude

* Voir également G. BEAUDET, G. MAURER, A. RUELLAN, 1966.

d'étudier un sol en essayant de le placer dans son contexte géomorphologique et quaternaire, avec les héritages pédogénétiques que cela implique.

Depuis plusieurs années, les pédologues de l'ORSTOM, travaillant au Maroc, ont utilisé, de leur côté, la classification de G. AUBERT et PH. DUCHAUFOR, en suivant ses améliorations successives (G. AUBERT et PH. DUCHAUFOR, 1956 ; G. AUBERT, 1965). En 1962, elle a été également adoptée par l'INRA comme base de travail de la cartographie des sols. Cette classification est fondée sur les conditions et processus d'évolution des sols qui se traduisent par une morphologie particulière. On peut donc dire qu'elle est morpho-génétique.

Elle range les sols dans une série d'unités, qui, en passant du niveau général au niveau particulier, sont les classes, sous-classes, groupes, sous-groupes, faciès, familles, séries, types, phases.

La différenciation des *classes* et *sous-classes* tient compte des conditions d'évolution des sols et repose sur les caractères suivants : degré d'évolution, développement du profil, modes d'altération des minéraux, libération des sesquioxides, types et répartition de la matière organique, phénomènes fondamentaux tels que hydromorphie et halomorphie.

Les conditions du pédoclimat sont exprimées au niveau des sous-classes.

Les *groupes* sont définis par les processus d'évolution.

Les *sous-groupes*, par l'intensité du processus ou l'apparition d'un ou plusieurs processus secondaires.

Les *faciès* concernent (parfois) des stades d'évolution ou des types intermédiaires.

Les *familles* font intervenir les caractères pétrographiques du matériau originel ou de la roche-mère.

Les *séries*, à l'intérieur d'une famille, regroupent les sols qui ont un profil semblable en ce qui concerne la succession, la constitution et l'épaisseur relative des horizons. La série est généralement liée à la situation du sol dans le relief et dans le paysage. C'est l'unité de base pour la cartographie des sols et elle est fondamentale pour l'utilisation agronomique.

Les unités inférieures sont : le *type*, qui indique des variations (généralement de texture) à l'intérieur d'une série ; la *phase* qui marque, à l'intérieur d'un type, des phénomènes transitoires ou de peu d'importance provoqués, par exemple, par la culture, la végétation naturelle, l'érosion.

La classification américaine enfin (U.S.D.A., 1960) bien qu'elle ne soit pas employée pour les travaux de cartographie des sols, est connue de plusieurs pédologues du Maroc ; sa terminologie est parfois utilisée, parallèlement à celle de la classification française.

III. Les facteurs de pédogénèse

Au Maroc, pays méditerranéen, les facteurs que l'on peut rendre responsables de la formation des sols sont les mêmes que partout dans le monde : le climat, la végétation, la roche-mère, le relief, l'érosion, l'homme. Cependant, et c'est là certainement une des originalités des régions méditerranéennes, la hiérarchie de ces facteurs et l'importance de leurs rôles dans la formation des sols ne sont pas les mêmes que dans les pays tempérés ou tropicaux, et si, dans ces derniers, le climat et la végétation sont souvent les facteurs principaux, c'est aux roches et au relief que reviennent, au Maroc, les rôles principaux dans la formation des sols.

A. Les roches

L'influence des roches sur les types de sol est très grande ; leur nature et leurs faciès sont très variés et contribuent en tout premier lieu à expliquer la grande diversité des sols du Maroc.

Les roches sont de tous types ; parmi les plus importantes on peut citer : les roches cristallines précambriennes, les schistes variés du Primaire, les calcaires de toutes natures et les dolomies surtout du Secondaire et du Tertiaire, les marnes à montmorillonite du Crétacé et du Miocène, les argiles et marnes salifères gypseuses du Permo-Trias, du Crétacé et du Miocène, les grès rouges du Permo-Trias, les basaltes du Primaire et du Quaternaire, les alluvions quaternaires des plaines et plateaux. Les phénomènes tectoniques qui les ont affectées,

particulièrement au cours de l'orogénèse alpine, et les phénomènes d'érosion qui ont suivi, font apparaître des séries de strates variées, qui se succèdent parfois sur de très courtes distances et auxquelles correspondent des sols de types différents (G. CHOUBERT, 1950-1959).

Parmi toutes ces roches cependant, les roches calcaires sont les plus importantes, non seulement par les surfaces qu'elles couvrent (sans doute près des 3/4 du Maroc), mais aussi par leur relief, car elles forment l'ossature de la plus grande partie des chaînes montagneuses, et aussi parce qu'elles ont contribué à la formation de la plupart des alluvions qui occupent les plaines et plateaux du Maroc.

Les roches en place, dans un climat méditerranéen dont l'énergie de transformation est assez faible (G. BRYSSINE, 1949), ont une influence déterminante sur le type de pédogénèse par leur composition chimique, leur dureté, leur résistance à l'érosion, leur perméabilité.

Les roches alluviales et colluviales meubles par leur texture, leur teneur en calcaire, leur composition minéralogique, leur âge dans le Quaternaire, déterminent en grande partie, la répartition des différents sols isohumiques, des vertisols de plaine, des sols peu évolués d'apport.

B. Le relief .

Le relief est, avec les types de roches, un des facteurs qui a la plus forte influence sur les variations et la répartition des sols du Maroc.

Le Maroc a un relief très compartimenté, fragmenté, non seulement par son ossature montagneuse générale, mais également à une échelle plus petite. Les plaines et les plateaux sont sillonnés de lignes de flexure ou de faille. Les glacis et les terrasses quaternaires des vallées sont souvent délimités nettement par de véritables petites falaises. Les oueds, sauf dans les plaines littorales, entaillent profondément leurs alluvions. Sur presque tous les plateaux, qu'ils soient situés dans les régions atlantiques, orientales ou présahariennes, on trouve de nombreuses petites cuvettes fermées (daya) d'origines diverses : karst, reste de réseau hydrographique, effondrement sur d'anciennes poches de gypse.

Tous ces reliefs, à échelles diverses, ont une influence sur la formation des sols. Le relief général agit surtout par l'intermédiaire du climat, fonction de l'altitude, et de l'érosion, fonction de la pente ; il répartit également les alluvions qui formeront les roches-mères des sols de plaine. A l'échelle d'une vallée, l'exposition du versant peut modifier suffisamment le climat local pour changer les conditions de végétation et les phénomènes d'érosion : les versants exposés au S et au SE sont plus secs, moins couverts de végétation, plus érodés. A une échelle plus petite, dans les plaines, un changement de pente modifie les conditions de circulation interne de l'eau : le calcaire se déposera plus facilement en bordure d'un léger thalweg. Les dépressions fermées, les ondulations, même de très faible amplitude, changent totalement le pédoclimat, provoquant des phénomènes d'hydromorphie, des salures.

C. *Le climat*

L'action du climat méditerranéen n'est prépondérante que dans des cas extrêmes : régions présahariennes où l'ablation et les apports éoliens marquent fortement le paysage, haute montagne où la gélifraction est générale, régions de montagnes humides même, où les sols évolués climaciques ont des caractères convergents quelles que soient les roches. Ceci cependant n'intéresse, au Maroc, que de faibles surfaces. Dans la plus grande partie du pays, l'effet du climat est subordonné au relief, aux types de roches, à la végétation, à l'action de l'homme, et il est souvent difficile d'établir une répartition des sols en fonction des macroclimats.

Le climat actuel, outre son caractère xérothermique, est marqué par une forte variabilité interannuelle de la pluviosité (dans la proportion de 1 à 4), par une concentration annuelle des pluies pendant quelques mois et, pendant cette période pluvieuse, par une répartition surtout discontinue des précipitations sous forme d'averses. Il est vraisemblable que ce climat (au moins le mésoclimat et le microclimat) a été aridifié, dans beaucoup de régions du Maroc, par les défrichements intensifs dus à l'homme et parfois très récents. Ce caractère contrasté, avec des alternances de forte humidité et de grande sécheresse, est à l'origine de la plupart des actions climatiques actuelles, pédologiques ou morphologiques.

Un tel climat crée des conditions favorables à un engorgement temporaire par l'eau, engorgement dont on voit la marque dans de nombreux types de sols : sols rouges, sols isohumiques, sols bruns calcaires, sols bruns tempérés ou méditerranéens. Cet engorgement peut s'effectuer dans les régions subarides, lorsqu'une topographie de plaine ou de dépression le permet ; ainsi se forment des sols hydromorphes sur les bas plateaux de la Meseta côtière. Même dans les régions très sèches, arides ou sahariennes, les pointes de pluviométrie peuvent occasionnellement réactiver et conserver des pédogénèses de ce type, formées anciennement sous un climat plus favorable.

L'influence du climat sur l'érosion est très forte. Dans les régions arides et semi-arides la végétation est rarement très dense et elle a tendance à s'éclaircir pendant les années les plus sèches. D'autre part, la couverture de plantes annuelles est presque inexistante à la fin de la saison sèche dans les zones labourées ou fortement pâturées. Les premières pluies d'automne tombent sur des sols sans défense et produisent des érosions intenses. Les pointes de pluviosité peuvent, par ailleurs, mettre en action certains types d'érosion, comme les solifluxions, dans des régions où, en année normale, l'érosion est produite par le ruissellement.

Sauf dans les régions subhumides ou humides, ou dans le cas de roches-mères particulièrement perméables, un climat de ce type ne produit pas de lessivage important des substances solubles, d'une part, parce que le sol n'est pas mouillé sur une grande épaisseur, et d'autre part, à cause des remontées de solutions qui se produisent pendant les périodes sèches, même en hiver ; il y a donc généralement tendance à une accumulation dans le profil, en particulier pour le calcaire et pour les sels.

Sur un sol laissé à nu ou mal couvert par les plantes, les fortes chaleurs d'été et d'automne favorisent la destruction rapide de la matière organique. A cette période chaude et sèche, il faut attribuer également la tendance à la rubéfaction qui marque plusieurs types de sol.

D. L'âge des sols et les climats anciens

Dans beaucoup de cas, les sols montrent des profils dont les forts caractères d'évolution (rubéfaction, encroûtement très épais) ne paraissent pas compatibles avec les conditions clima-

tiques actuelles. On connaît en effet, et on a pu mesurer dans certains cas, la lenteur ou la faiblesse de l'activité actuelle du climat. Ainsi, dans les régions semi-arides et en zones anciennement défrichées (plaine du Zebra) la pénétration de l'eau est souvent trop peu profonde pour être la cause des encroûtements calcaires que l'on observe.

On se trouve alors devant un dilemme ; ou bien le climat actuel n'est plus suffisant pour expliquer les sols que l'on voit, et il faut supposer que ces derniers se sont formés sous des climats anciens plus actifs, plus humides, que l'on attribue aux périodes du Quaternaire, ou bien c'est une question de durée et on est amené à admettre une pédogénèse extrêmement longue avec des phénomènes lents, à effets cumulatifs, ayant pu se produire sous un climat analogue à celui que l'on constate actuellement. Suivant les régions, l'une ou l'autre hypothèse est valable. En région aride, il est évident que certains phénomènes comme les encroûtements, les croûtes, certaines rubéfactions non lithochromes, ne sont pas le résultat d'un climat du type actuel. Par contre, dans certaines régions semi-arides et sub-humides, les pédogénèses peuvent être produites par le climat actuel à condition de faire intervenir le facteur temps.

En tous cas, ce qu'on peut affirmer, c'est que les pédogénèses climaciques du Maroc (sols rouges méditerranéens, sols isohumiques, croûtes calcaires), sans être forcément toutes fossiles, sont certainement très anciennes, c'est-à-dire que leur évolution a commencé depuis très longtemps, généralement depuis plusieurs dizaines de milliers d'années.

Par ailleurs, même s'il y a eu des changements climatiques au Quaternaire, il semble que les climats anciens sont toujours restés du type méditerranéen.

E. La végétation

La végétation climacique, en équilibre avec le climat actuel, n'existe plus qu'en de rares régions : montagnes, zones arides ou subdésertiques. Ailleurs, elle a été complètement modifiée par l'action de l'homme ; en particulier, les végétations de forêt, matorral, erme, steppe des plaines et plateaux arides à subhumides ne subsistent plus que par places et sont généralement dégradées ou détruites (T. IONESCO, 1964). Les sols gardent donc, dans leurs caractères morphologiques, la trace de l'action d'une

végétation ancienne complètement différente de celle que l'on voit aujourd'hui, végétation qui pouvait exister encore il y a quelques dizaines d'années. Il est donc souvent difficile de voir clairement quelle a été l'influence de la végétation sur la pédogénèse des sols du Maroc. Le rôle des systèmes racinaires et de la matière organique résiduelle, dans la formation des sols isohumiques subtropicaux en particulier, est mal défini.

Sauf dans les trop rares régions où subsiste une forêt ou un matorral, la végétation a un caractère de fugacité, lié au climat. Pendant plusieurs mois, du début de l'été au milieu de l'automne, les plantes annuelles desséchées protègent mal le sol, ce qui permet à l'érosion de se manifester avec force.

F. L'action de l'homme

L'action de l'homme, ancienne ou récente, est visible presque partout, se traduisant souvent par une dégradation érosive des sols, et modifiant parfois les conditions de pédogénèse.

L'érosion est augmentée ou provoquée par diverses activités humaines, en particulier :

— les exploitations abusives des forêts, allant jusqu'à leur disparition complète dans un climat méditerranéen qui, par lui-même, est peu favorable à leur régénération spontanée ;

— les défrichements et mises en culture qui s'étendent de plus en plus sur des pentes fortes ;

— le surpâturage qui, non seulement dégrade et éclaircit la végétation mais provoque, en outre, soit un tassement du sol qui diminue l'infiltration de l'eau de pluie et favorise le ruissellement, soit, surtout sur les jachères, une pulvérisation des couches superficielles du sol, qui permet l'ablation éolienne de particules fines.

Depuis quelques dizaines d'années toutefois, des travaux importants ont été réalisés, surtout par les services forestiers, pour la défense et la restauration des sols par des banquettes en courbes de niveau et pour la replantation et la régénération des forêts.

La culture motorisée, spécialement le labour par disques, tasse le sol en profondeur, diminue l'infiltration et provoque un élargissement et une compaction de la structure superficielle.

La mise en culture après défrichement entraîne une baisse de la teneur en matière organique.

Les labours, les scarifiages profonds faits dans le but d'extirper les croûtes, provoquent fréquemment une recalcarisation des horizons supérieurs.

La culture irriguée peut avoir des effets favorables, en particulier une certaine remontée du taux de matière organique ; mais, si elle est mal conduite, elle contribue encore à dégrader le sol, soit par un lessivage des éléments fertilisants, soit par une compaction suivie d'un début d'hydromorphie, soit par une salure lorsque le niveau de la nappe phréatique n'est pas contrôlé par un drainage suffisant ou lorsqu'une eau salée est utilisée avec de mauvaises méthodes d'irrigation.

Dans certaines régions, par exemple le Gharb, des travaux importants d'assainissement changent les conditions pédoclimatiques et des sols formés en milieu très humide évoluent maintenant dans des conditions plus sèches.

G. *L'érosion par l'eau*

Ce sujet a déjà été traité en détail dans le chapitre I de la 1^{re} partie. L'érosion par l'eau résulte des conditions de climat, de végétation et de relief, parfois du type de roches. Elle est aggravée par le déséquilibre que l'homme introduit dans le milieu naturel. Elle affecte à des degrés divers, et sous des formes variées de ruissellement et de solifluxion, la plupart des régions du Maroc à relief un tant soit peu accentué (G. BEAUDET *et al.*, 1964).

Dans les cas les moins graves, il se produit un départ des particules fines (argiles, limon, matière organique) de l'horizon superficiel du sol, qui devient plus sableux.

A un degré plus avancé, il se forme des sols peu évolués d'érosion, des lithosols et régosols. Sur les pentes s'organisent des chaînes et séquences de sols ; sur les piedmonts et dans les vallées, des recouvrements de sols, des superpositions de dépôts prolongent ceux qui ont été légués par les diverses époques du Quaternaire.

D'énormes surfaces sont ainsi stérilisées ou en voie de l'être, en particulier dans les régions à roches peu résistantes :

Rif, Prérif, Haut Atlas, Plateau central, etc. Beaucoup de terres, cultivées sur des pentes même faibles, sans techniques de protection, voient leur fertilité diminuer au fur et à mesure que leur horizon superficiel s'amincit.

IV. Les principaux types de sols du Maroc et leur répartition

Les pédogénèses qui ont formé et forment encore les sols du Maroc, et dont les facteurs viennent d'être rappelés, sont multiples et souvent complexes. On passera maintenant en revue les types de sols qu'elles produisent, en commençant par les plus fréquents et les plus importants dans ce pays : les sols isohumiques méditerranéens ou subtropicaux, les sols rouges méditerranéens, les sols calcomagnésimorphes, les vertisols, les sols hydromorphes, les sols bruns à mull, les sols halomorphes. En y ajoutant les sols d'érosion, les sols peu évolués d'apport et les sols des régions désertiques, on aura fait le point des connaissances actuelles sur la question.

Les noms scientifiques de sols qui seront utilisés dans les paragraphes suivants sont ceux de la classification de G. AUBERT (1965).

A. *Les sols isohumiques*

Il s'agit, au Maroc, de sols isohumiques des régions méditerranéennes ou subtropicales (sous-classe 3), à complexe adsorbant saturé et évoluant sous un pédoclimat frais en saison pluvieuse.

Ces sols sont caractéristiques des plaines, piedmonts et plateaux du Maroc atlantique (à l'exception de sa bordure côtière) et oriental, au climat méditerranéen subaride ou aride (250-500 mm de pluie), dont on peut dire qu'elles constituent les sols zonaux ; ils s'étendent même, mais de façon plus sporadique, aux plaines et plateaux du domaine présaharien.

Ils sont formés essentiellement sur des alluvions ou colluvions du Quaternaire, ancien, moyen ou récent, à l'exclusion toutefois des dépôts du Rharbien récent ou subactuel. De ce fait, en de nombreux endroits, les sols isohumiques ont des profils complexes, montrant des superpositions de roches-mères et des pédogénèses surimposées ou superposées.

Les sols de la sous-classe isohumique subtropicale ont en commun un faisceau de caractères qui les séparent nettement des autres sols du Maroc, bien que chacun de ces caractères, pris isolément, puisse se retrouver dans d'autres types de sol. Ce sont : une argilisation (teneur en argile plus forte, quelle qu'en soit l'origine) en profondeur ; une faible rubéfaction ; un profil organique isohumique, c'est-à-dire une matière organique pénétrant profondément le sol en décroissant lentement et régulièrement ; une faible teneur en matière organique, ne dépassant que rarement 3 % en surface ; un profil calcaire comportant normalement une décalcarisation en surface et une accumulation en profondeur ; une individualisation du calcaire en profondeur sous forme de concrétions de divers types.

Parmi ces caractères, les deux derniers, concernant le profil calcaire et l'individualisation du calcaire en profondeur, sont les plus apparents au point de vue morphologique.

On distingue deux groupes parmi ces sols, les sols châtaîns et les sols bruns, qui, typiquement, se différencient de la façon suivante :

Les sols châtaîns isohumiques subtropicaux sont plus argileux, plus rubéfiés ; ils sont totalement décalcarisés en surface ; leur structure est prismatique en profondeur ; leur accumulation de calcaire par rapport à la roche-mère est importante.

Les sols bruns isohumiques subtropicaux restent souvent calcaires en surface et sont moins rubéfiés ; leur structure est polyédrique en profondeur ; leur accumulation de calcaire est généralement moins forte.

Ces deux groupes sont eux-mêmes subdivisés en plusieurs sous-groupes suivant l'intensité de développement du sol, ou en tenant compte de caractères annexes :

sols modaux, dans lesquels l'individualisation du calcaire se fait sous forme d'amas, granules et nodules ;

sols peu développés, où l'accumulation et l'individualisation du calcaire sont faibles ;

sols vertiques, dont la structure devient grossière et compacte ;

sols encroûtés, dans lesquels le calcaire s'individualise sous forme de croûte à la partie supérieure d'un horizon fortement calcaire ;

sols hydromorphes à taches et concrétions ferrugineuses ; on les trouve surtout chez les sols châtaîns ; ils sont liés à une position topographique basse et, parfois à un ensablement superficiel (région des Doukkala) ;

sols salés et alcalisés, fréquents surtout chez les sols bruns et plus souvent en profondeur que dans l'ensemble du profil.

Un troisième groupe, celui des *Siérozem* subtropicaux a été parfois reconnu et cartographié au Maroc. Il comprend des sols, situés dans les régions à climat méditerranéen aride, dont les caractères d'évolution sont peu marqués ; en particulier, le gradient du calcaire est très faible. La tendance actuelle est de ne plus utiliser ce groupe et de ranger ces sols, soit parmi les sols bruns peu développés, soit parmi les sols peu évolués subdésertiques dont il est généralement difficile de les distinguer.

Les caractères morphologiques et analytiques des sols isohumiques du Maroc ont été décrits dans de nombreux rapports et depuis longtemps on a cherché à les définir avec précision (G. BRYSSINE, 1954). Leur étude a été favorisée par le fait qu'ils constituent la majeure partie des sols irrigables.

Les sols isohumiques encroûtés et d'une façon plus générale les croûtes et encroûtements calcaires, qui paraissent liés surtout à ce type de pédogénèse, ont une importance très grande. Ils posent de nombreux problèmes, aussi bien sur le plan scientifique en ce qui concerne la genèse des croûtes, que sur le plan pratique pour leur utilisation agronomique et leur amélioration. De nombreuses études leur ont été consacrées au Maroc par des géographes, des géologues ou des pédologues (M. GIGOUT, 1960 ; G. GAUCHER, 1948 ; J. WILBERT, 1962 ; G. BEAUDET, G. MAURER, A. RUELLAN, 1966).

Une mise au point sur les caractères, les facteurs et processus de formation et la classification des sols isohumiques et des croûtes a été récemment faite par A. RUELLAN (1966). Parmi les conclusions et hypothèses indiquées par cet auteur, certaines seront résumées ici très brièvement.

Il y a un certain parallélisme général entre le degré d'évolution des sols isohumiques et le climat actuel ; les sols châtaîns et les sols bruns peu calcaires sont plus fréquents, en moyenne, dans les régions plus humides ; plus on va vers les régions arides, plus fréquemment les sols bruns sont calcaires et peu développés.

Dans une même zone climatique, cependant, on trouve côte à côte les divers types de sols isohumiques. Leur répartition est alors étroitement liée aux caractères des roches-mères alluviales et colluviales, en particulier à leur teneur en argile et en calcaire. Les sols châtaîns se forment ainsi de préférence sur les dépôts argileux peu ou pas calcaires. Ces caractères des alluvions sont liés, évidemment, aux caractères des sols ou des roches tendres des zones montagneuses situées en amont, sols ou roches qui ont été érodés et transportés dans les plaines. En particulier, les sols châtaîns se forment fréquemment sur les sols rouges transportés, et leur rubéfaction est alors un caractère hérité.

Il y a parallélisme entre le degré de développement des sols isohumiques et l'âge des alluvions. Ceci est valable pour tous les caractères de ces sols cités précédemment, sauf pour le profil isohumique qui peut se développer sur des alluvions récentes. Ce parallélisme du développement et de l'âge est très caractéristique pour les phénomènes d'accumulation et d'individualisation du calcaire : dans une région donnée, le faciès des accumulations de calcaire est en bonne relation avec l'âge des dépôts du Quaternaire.

Les sols isohumiques évolués sont des sols anciens formés en climat méditerranéen semi-aride, sous une végétation climacique dont on sait maintenant qu'elle était surtout une forêt ou un matorral. Cette végétation peut expliquer, par son système racinaire profond, la répartition en profondeur de la matière organique ; par contre, la faible teneur en matière organique que l'on constate actuellement dans l'horizon superficiel du sol serait un caractère de dégradation, dû au défrichement assez récent et à la culture qui ont affecté l'horizon superficiel organique existant sous forêt. Le système racinaire est aussi, par l'assèchement local qu'il provoque, un des facteurs de l'accumulation du calcaire.

Ces sols anciens ne sont pas forcément fossiles. Certains de leurs caractères le sont, en particulier les croûtes calcaires qui, sauf dans des cas spéciaux, ne semblent pas s'être formées postérieurement au Tensiftien ; mais dans les régions à climat actuel subaride ces sols peuvent continuer leur évolution, à condition que subsiste la végétation climacique, ou une végétation de remplacement assurant un pédoclimat analogue.

Pour expliquer les accumulations de calcaire, le lessivage vertical est souvent insuffisant et, hors la présence d'une nappe phréatique battante, il faut supposer l'existence d'un apport latéral de calcaire par une circulation interne d'eau provenant des régions situées en amont. Ceci est nécessaire en particulier lorsque les sols sont formés sur une alluvion peu ou pas calcaire.

Bien que la comparaison ne soit pas valable de façon absolue puisque les conditions de roche-mère et de topographie sont différentes, on peut cependant considérer la pédogénèse isohumique, en climat méditerranéen, comme un type d'évolution intermédiaire entre la pédogénèse des sols rouges et bruns méditerranéens et celle des sols peu évolués subdésertiques. Ceci est particulièrement net en ce qui concerne la dynamique du calcaire, les sols rouges méditerranéens étant caractérisés par un départ total du calcaire, les sols isohumiques, par une conservation partielle ou par un apport de calcaire, les sols peu évolués subdésertiques, par une quasi absence des mouvements de calcaire.

B. Les sols rouges et bruns méditerranéens

Les sols à sesquioxydes fortement individualisés, de la sous-classe des sols rouges et bruns méditerranéens, sont largement répandus au Maroc sous des climats actuels très variés, allant du méditerranéen aride au méditerranéen humide.

Ils sont caractérisés par une formation en milieu calcaire ou calcique, par une individualisation forte des oxydes de fer avec rubéfaction, par une décalcarisation généralement totale, mais avec un complexe d'échange restant presque saturé. Leur structure est polyédrique fine avec souvent une surstructure prismatique en profondeur.

Contrairement aux sols isohumiques ce sont, avant tout, des sols formés sur des roches en place. On les trouve en majorité dans les régions montagneuses, sous une végétation climacique forestière.

Ils ne sont typiques que lorsque la forêt existe encore, montrant alors dans leur profil un horizon organique bien différencié. Lorsque la forêt est dégradée, ils sont érodés et ne subsistent que par taches, associés à des lithosols, à des sols

rendziniformes, à des sols peu évolués de pente qui conservent une couleur rouge.

Ces sols, généralement situés dans des régions à pente forte et non cultivées, ont été assez peu étudiés au Maroc. Ils se forment sur une gamme de roches variées : calcaire dur, grès dunaire à ciment calcaire, schiste calcaire, schiste, basalte et andésite, grès et sable siliceux ferrugineux, granite.

Les zones les plus étendues et les plus homogènes de sol rouge méditerranéen sur calcaire sont situées dans les régions montagneuses du Maroc, sur calcaire ou dolomie surtout jurassiques ; ce sont le Causse moyen-atlasique, le Moyen Atlas plissé, le versant atlantique du Haut Atlas calcaire dans sa moitié occidentale, la dorsale calcaire du Rif, la chaîne des Beni Snassen. Le climat dans ces régions est méditerranéen humide ou subhumide, parfois semi-aride ; la pluviosité peut atteindre 1 500 mm dans le Rif, elle ne descend pas en dessous de 450 mm dans les Beni Snassen et le Moyen Atlas.

Une autre zone assez homogène de sol rouge se trouve sur les bandes de grès calcaire dunaire (Sahel) qui bordent le littoral atlantique depuis l'embouchure de l'oued Loukkos au N (climat subhumide, 500-700 mm de pluie), jusqu'à l'embouchure de l'Oum er Rbia au S (climat semi-aride, 350-500 mm).

Dans ces diverses régions les sols appartiennent généralement au groupe des sols rouges méditerranéens lessivés, à teneur en argile augmentant en profondeur ; en outre, ils sont parfois encroûtés, présentant au-dessus de la roche-mère un horizon à concrétions calcaires. Dans le Moyen Atlas les sols rouges sont souvent associés à des sols bruns méditerranéens qui en diffèrent par leur très faible rubéfaction.

Dans les régions les moins sèches de l'Anti Atlas, au climat semi-aride ou aride (250 à 500 mm de pluie), on trouve des restes de sol rouge méditerranéen très érodé sur les calcaires Géorgiens (Cambrien).

Les sols rouges méditerranéens sur schiste non calcaire sont également des sols de montagne. On les trouve dans le Rif, le Plateau Central, les entailles d'oueds de la

Meseta côtière, sous un climat semi-aride à subhumide (500-1 000 mm de pluie). Ils y sont associés à des sols bruns appartenant soit à la classe des sols à mull des régions tempérées, soit à celle des sols à sesquioxydes. Ils sont généralement érodés.

Il existe également de nombreux restes de sol rouge sur schiste dans des massifs montagneux au climat actuel surtout aride, entièrement déboisés et fortement érodés : chaîne des Jbilet, massif des Rehamna, où la pluviosité est de 250-400 mm.

Des sols rouges et bruns méditerranéens sur basalte quaternaire existent dans le Causse moyen-atlasique (600-1 100 mm) et dans le Saïs (500-600 mm de pluie) ; il en est de même sur les andésites des massifs volcaniques miocènes de la côte méditerranéenne : Jbel Sebt (400-700 mm).

Des sols rouges lessivés se forment sur les « sables fauves » siliceux-ferrugineux du Villafranchien qui affleurent sur le plateau de Meknes (500-600 mm de pluie).

Sur des granites, dans l'Anti Atlas et dans le Plateau central, on a reconnu des phénomènes de rubéfaction, sinon de véritables sols rouges méditerranéens.

Enfin, il existe dans les régions présahariennes des dunes rubéfiées dont la couleur n'est peut-être pas uniquement lithochrome.

On voit, d'après les pluviométries qui ont été citées, que ces sols se trouvent actuellement au Maroc sous des conditions de pédoclimat très diverses. La question de l'ancienneté ou de la formation actuelle des sols rouges n'est pas résolue. Il est vraisemblable que ceux des régions arides sont fossiles. Il faut cependant nuancer les hypothèses suivant la nature de la roche-mère : il est possible que sur une roche-mère à faible teneur en calcaire (grès, schiste) ou très perméable (sable) la formation des sols rouges puisse se faire sous un climat assez aride.

En dehors des sols rouges en place, on trouve dans les plaines et plateaux intérieurs des surfaces importantes de sols rubéfiés qui se sont formés sur des dépôts du Quaternaire, généralement soltaniens, amiriens et villafranchiens, et peut-être aussi sur des dépôts plus anciens (Pontien). Dans la plupart des cas, il semble bien qu'il s'agit d'une rubéfaction héritée, la roche-mère étant un dépôt lithochrome, c'est-à-dire prove-

nant de l'érosion et du transport d'un sol rouge de montagne ou d'une roche meuble rouge. Cependant, lorsque ce dépôt recouvre un calcaire dur lapiazé il est possible que ce dernier ait participé aussi à la formation du sol.

La pédogénèse qui a affecté ces dépôts de plaine se rapproche généralement plus du type isohumique que du type rubéfiant.

De tels sols, appelés « Hamri », existent dans la plupart des plaines intérieures, sous un climat actuel semi-aride (Saïs, Basse-Moulouya, Doukkala) ou même aride (Tadla, plateau des phosphates, Haouz de Marrakech : 300-400 mm de pluie). Ils sont tous cultivés. Leurs caractères étant intermédiaires entre ceux des sols isohumiques et ceux des sols à sesquioxydes, ils ont été classés, suivant les auteurs, soit en sols rouges méditerranéens à caractères isohumiques, soit en sols châtaîns isohumiques sur roche-mère rouge.

C. Les sols calcomagnésimorphes

Les sols calcomagnésimorphes sont essentiellement formés sur des roches calcaires ou dolomitiques en place, à pente plus ou moins forte, ou sur des dépôts de pente recouvrant ces mêmes roches.

On ne range pas dans cette classe les sols formés sur des alluvions calcaires : suivant leur degré d'évolution ils font partie soit des sols peu évolués d'apport, soit des sols isohumiques. Les sols calcomagnésimorphes se caractérisent, en effet, par une décalcarisation partielle relativement à la roche-mère, ce qui les différencie des sols peu évolués, et par l'absence d'accumulation et d'individualisation du calcaire, ce qui les différencie des sols isohumiques.

Ceci suppose d'une part, une attaque de la roche-mère dans un milieu pédoclimatique suffisamment humide provoquant un départ de calcaire, d'autre part, le maintien d'un certain taux de calcaire dans le sol. Sur une roche calcaire tendre, à pente plus ou moins forte, ces conditions sont réalisées sous n'importe quel climat ; en climat humide, la pente favorise l'érosion lente de l'horizon superficiel et la mise à jour progressive des couches profondes plus calcaires ; en climat plus aride, la décalcarisation est faible et peu profonde. Sur un calcaire dur, de tels sols ne se forment pas lorsque la pluviosité et la végétation

permettent la pédogénèse des sols rouges méditerranéens ; ils se forment, par contre, d'une part lorsque la pluviosité est faible, d'autre part, lorsque la dégradation de la végétation, en région humide, provoque une érosion qui permet la formation de dépôts de pente calcaires assez stables pour qu'une pédogénèse s'y produise.

En fait, on trouve des sols calcomagnésimorphes, au Maroc, pratiquement partout où il y a des roches calcaires en place, c'est-à-dire dans la plus grande partie du pays. Les seules régions du Maroc où il n'y ait pas de calcaires sur de vastes surfaces sont : le Plateau Central, une partie de la Meseta côtière, une partie du Rif (schistes), le Haut Atlas occidental (roches cristallines acides et schistes), une partie de l'Anti-Atlas (roches cristallines acides, roches volcaniques, schistes, quartzite), les Rehamna et les Jbilet (schistes).

Dans les régions à calcaire dur, les sols calco-magnésimorphes sont rares lorsque les conditions de climat et de végétation permettent la formation des sols rouges ; c'est le cas par exemple du Causse moyen atlasique. Ils sont au contraire fréquents et associés à des lithosols et à des sols peu évolués de pente lorsque la végétation est dégradée, c'est le cas par exemple du Rif et du Haut Atlas calcaire sur son versant méridional.

Dans les régions à calcaire tendre, ils sont dominants, associés à des sols peu évolués d'érosion, à des régosols et, lorsque la roche et le climat le permettent, à des vertisols.

Parmi les sols de la sous-classe rendziniforme (sous-classe 1), le groupe des rendzines vraies, à structure grumeleuse ou grenue, est peu représenté au Maroc. Ces sols n'existent que sporadiquement lorsqu'une végétation naturelle de forêt ou de matorral est conservée, fournissant de la matière organique en quantité suffisante. On a ainsi reconnu, par exemple, des rendzines grises typiques sur des calcaires crayeux sénoniens de la bordure S du Haut Atlas, sous une steppe arborée d'Arganiers. La formation des rendzines est également favorisée par certaines roches-mères, comme les marnes sableuses sahéliennes. Par ailleurs, lorsqu'un sol sur calcaire dur est peu épais, cela se traduit généralement par une teneur en matière organique assez forte qui permet la formation d'une structure de rendzine.

Un cas particulier est celui des rendzines dolomitiques qui se développent, dans le Moyen Atlas, sur des dolomies à faciès sableux et sous une végétation forestière.

Le groupe des rendzines à horizons est beaucoup plus répandu, avec surtout des sols bruns calcaires à structure polyédrique dès la surface ou prismatique en profondeur. Sur les marnes tortoniennes ces sols ont souvent des caractères vertiques. Un type particulier de formation est celui des sols bruns calcaires sur croûte calcaire, qui se développent soit dans l'horizon supérieur d'un sol brun isohumique encroûté, soit aux dépens de la croûte elle-même.

On a cartographié par ailleurs des sols bruns calcaires, dont l'origine est mal élucidée. Il s'agit de sols non calcaires mais à complexe adsorbant saturé, à structure de rendzine, de couleur noirâtre, formés sur des grès dunaires siliceux à ciment calcaire. On les trouve surtout dans le Sahel de la côte atlantique, en association avec des sols rouges méditerranéens.

Les sols de la sous-classe à accumulation gypseuse (sous-classe 2) sont très rares au Maroc. On a cartographié des sols à encroûtement gypseux dans le Maroc oriental, sur les terrasses de l'oued Za.

D. *Les vertisols*

Les vertisols ou « tirs » couvrent des surfaces importantes dans le Maroc atlantique, c'est-à-dire dans un triangle limité au N par la crête dorsale du Rif, à l'E et au S par le Moyen Atlas et le Haut Atlas, à l'W par l'Océan Atlantique. On en trouve également, mais en surfaces beaucoup plus limitées, sur la bordure de la Méditerranée.

Dans le Maroc atlantique, leur importance va en diminuant du littoral à l'intérieur du pays. Les bas plateaux littoraux (Doukkala, Chaouïa, Zaër), les plaines côtières (Gharb et vallées adjacentes) et les collines du NW du Maroc en portent de vastes étendues. Les plateaux et plaines intérieures de Fes-Meknes, du Tadla et du Haouz n'en ont plus que des taches de faible superficie, qui sont généralement localisées au pied-mont des chaînes atlasiques ou dans d'étroites vallées. Seule,

fait exception l'auréole des collines pré-rifaines, sur lesquelles les tirs sont fréquents, vers l'E, jusqu'à la longitude de Taza.

Les tirs du Maroc ont fait depuis longtemps l'objet de nombreuses études concernant leurs caractères physiques particuliers, les facteurs et processus de leur pédogénèse, leurs qualités et défauts agricoles. Récemment, des études et mises au point importantes ont été publiées (G. BRYSSINE, 1965 ; J. WILBERT, 1965 ; C. HESS et U. SCHOEN, 1964).

Les caractères physiques et analytiques des vertisols sont trop connus pour qu'il soit nécessaire de les décrire ici. Ils sont d'ailleurs étudiés en détail à propos de certains profils présentés dans la région de Fes et dans le Gharb. (Troisième partie, chap. IV et VI). On en distingue plusieurs types, d'après le degré de développement de leurs caractères vertiques et d'après leur position topographique et leur roche-mère.

1. Les vertisols topo-lithomorphes (sous-classe 1)

Formés en zones planes ou déprimées sur des alluvions contenant de l'argile montmorillonitique, ils ont presque toujours, au Maroc, une structure large dès la surface. On y distingue, au niveau du sous-groupe :

— des sols modaux, qui comprennent des tirs noirs et des tirs gris, dont la différence paraît provenir de l'âge de la roche-mère, les tirs gris se formant sur des alluvions plus récentes ;

— des sols à caractères vertiques moyennement développés, ou sols tirsifiés, dans lesquels on a parfois différencié, à côté de sols ayant une couleur gris-foncé typique, des tirs rouges et des tirs bruns ; il existe aussi des sols tirsifiés sur croûte calcaire, à profil généralement peu épais ; ces différenciations proviennent de caractères de la roche-mère ou du substratum : la couleur rouge par exemple est un caractère hérité, attribuable soit à une pédogénèse ancienne à laquelle s'est surimposée la pédogénèse vertique, soit à un dépôt lithochrome.

— des vertisols hydromorphes, à taches et concrétions ferrugineuses, formés dans des zones marécageuses en voie d'assèchement : tirs de merja.

Tous ces types de vertisols se trouvent dans les plaines et plateaux du littoral ou de l'intérieur qui ont été cités précédemment. Ils y sont fréquemment associés à d'autres sols avec lesquels ils forment des séquences liées à la topographie. Ainsi, dans la plaine du Gharb, depuis le bourrelet alluvial qui borde les oueds et jusqu'à la zone déprimée de l'interfluve, la succession des sols est régulièrement la suivante : sol peu évolué d'apport modal, puis vertique, vertisol modal, vertisol hydromorphe. Sur les alluvions anciennes des bas plateaux littoraux et des plaines intérieures les vertisols passent latéralement à des sols châtains isohumiques modaux ou vertiques, et parfois à des sols hydromorphes à taches et concrétions ferrugineuses.

— 2. Les vertisols lithomorphes se sont formés sur des pentes et généralement aux dépens de roches en place ou de colluvions de piedmont. On les appelle au Maroc « tirs de coteau ».

On les trouve surtout sur des marnes riches en Montmorillonite du Tortonien (Miocène marin) et du Crétacé supérieur et ils sont localisés essentiellement dans les collines du Pré-Rif, formant un vaste croissant depuis Taza jusqu'à Tanger.

On trouve aussi des tirs de coteau sur les basaltes ou dolérites du Permo-Trias (Moyen Atlas, bordures du Plateau Central), et sur des basaltes quaternaires (région de Nador).

Les tirs de coteau sur marne sont en général moyennement développés. Les flancs des collines pré-rifaines, depuis le sommet jusqu'à la vallée, portent généralement une séquence de sols peu évolués d'érosion, sols bruns calcaires, vertisols lithomorphes moyennement développés, vertisols topo-lithomorphes modaux.

La formation des tirs est liée, d'une part, à la présence de roches-mères favorables, c'est-à-dire possédant ou pouvant produire de l'argile gonflante en milieu calcique, d'autre part, à la possibilité d'un apport d'eau suffisant pour produire un engorgement temporaire (C. HESS et U. SCHOEN, 1964).

La localisation générale des tirs dans les régions relativement arrosées du Maroc (Maroc atlantique, bordure méditerranéenne) fait penser à une relation simple avec la pluviométrie actuelle.

En réalité, cependant, les climats actuels sous lesquels on trouve ces sols, en présence de roches-mères favorables, sont très variés, allant du climat méditerranéen subhumide au climat méditerranéen aride, en passant par le semi-aride (CH. SAUVAGE, 1963). On peut donc se demander dans certains cas, si les tirs évoluent encore actuellement ou s'ils sont fossiles. La réponse doit être nuancée et J. WILBERT (1963), donne pour le Maroc atlantique les conclusions provisoires suivantes :

Les tirs de coteau, qui se trouvent au Maroc dans des régions à pluviosité supérieure à 400-450 mm, avec des maxima de 800-900 mm, peuvent se former actuellement. Leur formation est toutefois limitée en altitude par l'abaissement de température; il semble, en effet, que lorsque la température minimale moyenne du mois le plus froid est inférieure à 4°C, la tirsification ne se produise plus.

Les tirs de plaine se trouvent dans des régions à pluviosité plus variée, allant surtout de 350 à 600 mm, avec des extrêmes de 250 à 800 mm. Au-dessous de 400 mm la tirsification paraît être un caractère hérité, qui se conserve ou se dégrade suivant les conditions locales, parmi lesquelles interviennent, notamment, la topographie et l'humidité de l'air.

E. Les sols hydromorphes

Les sols hydromorphes existent partout, au Maroc, lorsque les conditions locales de topographie le permettent, mais ils ne sont largement représentés que dans le Maroc atlantique, où ils sont surtout localisés sur les bas plateaux littoraux de la Meseta côtière, sur le pourtour de la plaine du Gharb, et dans le Plateau Central.

Dans la Meseta côtière, le sol hydromorphe le plus caractéristique, qui couvre des surfaces importantes sur les bas plateaux des Zaër, des Zemmour, des Doukkala et de la Chaouïa, est un sol hydromorphe minéral à pseudogley de profondeur, à taches et concrétions ferrugineuses, appelé localement *Merzag*. Ce sol, non calcaire et légèrement acide, montre, typiquement, un horizon supérieur sableux, un horizon inférieur argileux et une zone intermédiaire contenant une forte proportion de pisolithes ferrugineux (G. BRYSSINE, 1954). L'origine de ces sols est complexe; la forte différence de texture entre les deux horizons a été expliquée, soit par un lessivage

de l'horizon supérieur (J. WILBERT, 1962), soit par un apport sableux qui aurait recouvert un dépôt argileux.

Sur le pourtour des *daya*, ou petites dépressions temporairement inondées qui sont fréquentes sur ces mêmes plateaux littoraux, il se forme des sols hydromorphes minéraux à carapace ferrugineuse.

Il peut sembler curieux de trouver des sols hydromorphes sous un climat méditerranéen semi-aride comme celui de la Meseta côtière, avec des pluviosités de 300 à 500 mm. Plusieurs facteurs concourent à leur formation : un substratum peu perméable, de schiste ou d'argile ; un mauvais écoulement de l'eau sur ces plateaux où la circulation superficielle est presque endoréique ; la concentration des pluies en quelques mois propre au climat méditerranéen et qui permet la formation d'une nappe perchée temporaire au-dessus de l'horizon argileux ou du substratum imperméable ; enfin, la forte humidité relative de l'air dans les régions littorales.

Sur le pourtour du Gharb, des sols hydromorphes de type analogue, appelés *Harch*, forment une auréole qui suit le contact entre les sables villafranchiens de bordure et les alluvions argileuses de la plaine. Sur le plateau de Meknes on en trouve également quelques taches, liées aux affleurements de sable fauve villafranchien.

Dans le Plateau Central, sous un climat sub-humide ou semi-aride, des sols hydromorphes minéraux à taches et concrétions ferrugineuses se forment fréquemment aux dépens des schistes primaires non calcaires, sur les colluvions de piedmont et même sur les pentes. Ils sont associés à des sols bruns à mull, eux-mêmes plus ou moins hydromorphes.

Un type particulier de sols hydromorphes sur alluvions fortement calcaires se développe enfin dans de petites vallées mal drainées (Saïs, Tadla). Ces sols sont moyennement ou peu organiques. Bien qu'engorgés d'eau par une nappe phréatique haute, temporaire ou permanente, ils ne présentent que de très faibles caractères d'hydromorphie, dont le plus net est une couleur grise très claire. Ces sols, qui ne couvrent que de petites surfaces, sont cependant intéressants car ils posent le problème de l'hydromorphie en milieu très calcaire.

En dehors de ces sols de la classe hydromorphe, des phénomènes d'hydromorphie moins accentuée affectent fréquemment les sols de certaines régions littorales : vertisols et sols peu évolués d'apport du Gharb et de la vallée du Loukkos, sols lessivés de la Mamora. Par ailleurs, dans l'ensemble du Maroc, jusqu'au Sahara, une certaine hydromorphie peut se développer dans tous les sols de plaines ou plateaux ; ce phénomène est toujours la conséquence d'une topographie déprimée, d'une texture argileuse ou d'un substratum imperméable.

F. Les sols à mull ou sols brunifiés

On rapproche des sols brunifiés des pays tempérés *, à pédoclimat frais au moins pendant la saison pluvieuse, toute une série de sols formés en régions montagneuses sur des roches-mères non calcaires : en particulier, grès rouge du Permo-Trias dans le Haut Atlas occidental, grès et schistes secondaires dans le Rif, schiste primaire dans le Haut Atlas occidental, le Plateau Central et la Meseta côtière, grès et mollasses tertiaires dans le Prérif.

Ces sols se développent dans des régions à climat méditerranéen humide ou sub-humide, parfois semi-aride et sous une végétation forestière. Comme les sols rouges méditerranéens, ils ne présentent de profils typiques que lorsque la forêt subsiste ; lorsqu'elle est dégradée, les fortes pentes favorisent une érosion rapide et on ne trouve plus que des sols de pente peu évolués et des régosols ou lithosols. Comme les sols rouges de montagne d'ailleurs, ces sols ont été très peu étudiés au Maroc.

Ils couvrent des surfaces importantes, surtout dans le Rif et la bordure N du Prérif (900-1 000 mm de pluie), le Plateau Central (500-700 mm) et le Haut Atlas (500-800 mm).

On y a distingué des sols bruns acides, des sols bruns modaux à pH proche de la neutralité, des sols bruns lessivés et plus rarement des sols lessivés modaux.

* Sol non calcaire à complexe adsorbant plus ou moins désaturé, à humus fortement évolué, à faible individualisation des sesquioxydes de fer et d'alumine qui restent liés au complexe argilo-humique.

Dans le Plateau Central, ils sont fréquemment hydromorphes en profondeur, avec des taches et concrétions ferrugineuses, ou associés à des sols hydromorphes sur schiste.

Dans les entailles d'oueds de la meseta côtière, ils sont associés à des sols rouges méditerranéens sur schiste. Dans certains cas, il est possible que ces sols soient plus proches des sols bruns méditerranéens que des sols bruns des régions tempérées.

En dehors des zones montagneuses, on trouve aussi, dans le N-W du Maroc, à climat subhumide, des sols lessivés hydromorphes en profondeur sur les terrasses alluviales anciennes qui bordent les oueds (affluents de l'oued Ouergha, oued Loukkos et affluents, oued Hachef, oued Mharnar, etc.).

On a rapproché, par ailleurs, des sols lessivés, les sols formés sur les sables et cailloutis villafranchiens qui s'étendent entre Rabat et Larache sur la bordure atlantique du Maroc. Ces sols, à acidité assez forte (pH inférieur à 6), se développent sous forêt de Chênes-lièges, en particulier dans la Mamora, avec une pluviosité de 500 à 700 mm.

Aucun auteur à ce jour n'a encore observé et décrit au Maroc des phénomènes nets de podzolisation.

G. Les sols halomorphes

Bien que les phénomènes de salure et d'alcalisation * soient assez fréquents dans les plaines intérieures et côtières du Maroc (atlantique, oriental, ou présaharien), les vrais sols halomorphes, c'est-à-dire présentant des caractères morphologiques bien développés, y sont rares.

Les zones de sols halomorphes les plus importantes, dont la surface reste cependant faible, se trouvent dans les régions à climat méditerranéen saharien ou aride. Elles correspondent à des zones déprimées ou à des bassins mal drainés, situés sur le trajet d'oueds à écoulement endoréique. La salure du sol est provoquée par la remontée capillaire et la forte évaporation d'une nappe phréatique salée peu profonde. Le sel apporté par

* Teneur élevée en sodium échangeable.

les oueds ou par la nappe circulante provient généralement de roches tendres salées et gypseuses, situées en amont dans la zone montagneuse des bassins-versants. Il se forme dans ce cas, des sols fortement salins, à encroûtement superficiel (*Bekh-bakh*) ou à horizon superficiel friable. Ces sols sont hydromorphes en profondeur et leur complexe adsorbant renferme une forte proportion de sodium. Ils sont en outre souvent gypseux.

Les sols de ce type ont été surtout observés dans le Tafilalt et, plus au S, dans le bassin de l'oued Daoura (J. MARGAT, 1960; F. JOLY, 1962; R. RADANOVIC *et al.*, 1963). Il en existe aussi dans la vallée de l'oued Draâ, dans la dépression du Sedd el Mejnoun au NE de Marrakech et sur les Hauts-Plateaux du Maroc oriental.

D'autres sols halomorphes se forment dans les basses plaines littorales et d'estuaires. Sur les côtes atlantiques et méditerranéennes ils sont la conséquence d'une infiltration de l'eau de mer, qui remonte dans les oueds sous l'action de la marée. On trouve ainsi des sols fortement salés et alcalisés, à structure massive, dans les basses vallées des oueds Mellah, Bou Regreg, Loukkos, Mharhar et tout le long de la côte méditerranéenne.

En dehors des sols salés typiques, les phénomènes de salure qui se surajoutent à une autre pédogénèse sont fréquents dans les plaines alluviales au climat semi-aride, aride ou saharien. Il s'agit généralement d'une salure due à une nappe phréatique peu profonde; ce phénomène a été parfois aggravé ou même produit par l'homme, dans les régions irriguées. Dans ce cas, à la remontée de la nappe phréatique s'ajoute une salure superficielle provoquée par l'évaporation de l'eau d'irrigation. De telles salures, accompagnées d'alcalisation sodique, affectent notamment: des sols peu évolués d'apport ou subdésertiques dans le Tafilalt, dans les vallées du Guir et du Draâ; des sols isohumiques dans le Haouz de Marrakech, la Basse Moulouya, le Tadla; des vertisols, des sols peu évolués d'apport et des sols isohumiques dans le Gharb; des sols peu évolués d'apport dans les vallées du Sebou, de la Moulouya, du Tensift et de leurs affluents.

Enfin, en l'absence de nappe phréatique et d'irrigation, la salure et l'alcalisation de certains sols de plaine, en particulier

des sols isohumiques, peut être due à leur roche-mère. Ceci a été reconnu surtout dans les plaines et plateaux du Maroc oriental, où les limons du Villafranchien et du Quaternaire sont souvent salés et gypseux, avec une alcalisation à la fois sodique et magnésienne, cette dernière étant liée à la présence de carbonate de magnésium (A. RUELLAN, 1964).

H. Les sols minéraux bruts et les sols peu évolués

1. Les sols d'origine climatique

a. Les sols de haute montagne : on les trouve au-dessus de 3 000 m dans le Haut Atlas, au-dessus de 2 500 m dans le Moyen Atlas. Sur les sommets à relief mou, enneigés pendant plusieurs mois, on a observé, dans les zones déprimées, des sols polygonaux et réticulés ainsi que des rankers analogues à des sols de prairie alpine (B. HEUSCH, communication orale). Ces derniers sols sont, suivant la roche-mère, soit calciques, soit acides.

b. Les sols des régions subdésertiques : ces sols, ou dépôts, sont pratiquement limités au S et au SE du Maroc, dans le domaine présaharien, c'est-à-dire dans la région comprise entre les bordures de l'Anti Atlas et du Haut Atlas oriental et les frontières S et E du pays. La pluviosité y est de l'ordre de 50 à 150 mm par an. Cette région a été peu étudiée, sauf dans le SE marocain (F. JOLY, 1962 ; R. RADANOVIC et O. YOVANOVIC, 1963).

— *Les formations de désert* : les *ergs* ou grands massifs de dunes à localisation fixe, pénètrent peu au Maroc (erg Chebbi de Taouz) ; ils restent localisés à la frontière sud-orientale, où on trouve la bordure N de la grande zone d'accumulation dunaire du NW saharien. Plus fréquentes sont les dunes basses mobiles, *bakhane* ou *sif*, isolées ou groupées en champs ; elles remontent jusqu'au pied du Haut Atlas dans le Tafilat et le bassin de l'Oued Guir. Les *reg*, ou surfaces planes couvertes d'une couche de cailloux à patine désertique, couvrent de grandes surfaces. On distingue : des *reg* d'ablation éolienne (et aussi de ruissellement en nappe lors des rares pluies) sur les glacis qui bordent les nombreuses crêtes montagneuses ; ces *reg* se développent souvent sur des sols évolués

qui datent du Quaternaire moyen et ancien, sols souvent fortement encroûtés et qui sont à rapprocher des sols isohumiques ; des reg de désagrégation sur place sur les grands plateaux rocheux des Hamada ; des reg alluviaux ou épandages de cailloutis. On peut ajouter à cette liste les formations pierreuses de versants des montagnes subdésertiques, héritage d'un passé plus humide et plus froid, qui n'évoluent pratiquement pas actuellement : éboulis, « régolites » de fragmentation sur place.

— *Les sols peu évolués subdésertiques* : dans le S et le SE marocain, ces sols sont localisés surtout dans d'étroites bandes qui bordent le lit majeur des oueds. Ils se sont formés sur les terrasses alluviales et les épandages de glacis du Quaternaire récent, Soltano-rharbien, et plus rarement du Tensiftien. Les sols de terrasses, profonds, de texture variée, sont éolisés en surface, portant soit des microdunes (*nebka*) formées au pied des touffes de végétation, soit des voiles sableux ; ils sont fréquemment salés, soit par remontée à partir d'une nappe phréatique, soit par irrigation ; dans certains cas ils montrent des traces d'hydromorphie en profondeur, peut-être fossiles ; certains de ces sols, irrigués depuis plusieurs siècles, ont des caractères de sol brun isohumique subtropical, en particulier des amas et granules calcaires. Sur les épandages de glacis, les sols sont généralement caillouteux ou graveleux, et couverts par un reg de déflation éolienne.

Presque toute l'agriculture des régions présahariennes est concentrée sur ces sols, qui sont irrigués soit à partir des nappes phréatiques, par pompage ou par des *rhattara*, soit par les eaux de crue des oueds.

2. Les sols non climatiques

a. *Les sols d'érosion* : Il s'agit du produit de l'érosion par l'eau dans les régions en pente. Hors le cas de la solifluxion, le facteur normal de cette érosion est le ruissellement sous toutes ses formes qui est lui-même le résultat d'un couvert végétal insuffisant. La faible densité du couvert végétal peut avoir des causes naturelles, climatiques, dans les régions arides ou froides. Le plus souvent, cependant, c'est l'intervention de l'homme qui a provoqué ou accru l'éclaircissement de la végétation, allant jusqu'à sa destruction complète.

L'ancienneté de l'érosion, son degré, son intensité actuelle et ses types, sont variables suivant les multiples facteurs qui entrent en jeu (voir chapitre I de la 1^{re} partie et, dans ce chapitre, les paragraphes sur les facteurs de pédogénèse). On peut toutefois dire que la majorité des régions en pente en sont atteintes : montagnes, collines, glacis de piedmont, flancs de vallées, plateaux à pentes faibles. Des études sur ces questions si importantes pour le Maroc ont été réalisées en diverses régions par des géographes, des forestiers, des botanistes, des pédologues, des agronomes, mais les données sont encore fragmentaires.

— *Les sols peu évolués d'érosion* : ce nom regroupe des sols de pente en partie érodés et en partie transportés. En effet, dans un phénomène d'érosion progressive, active mais modérée, les dépôts, les transports et les apports de matériaux sur la pente sont toujours liés, voisins, parfois simultanés en un même point. Il peut s'agir de sols amincis, décapés en surface par un ruissellement diffus ou une solifluxion pelliculaire, qui enlèvent chaque année une partie des horizons superficiels évolués. Il peut s'agir aussi de sols rajeunis, par un apport de matériaux qui se substituent, se mélangent ou se superposent à leur horizon superficiel.

— *Les lithosols* constituent le terme ultime de l'érosion sur une roche dure ; la roche affleure sur une grande partie de la surface et il ne reste que quelques taches de sol discontinues. On utilise généralement le nom de sol squelettique dans le cas où la roche dure reste en majeure partie couverte par un sol très mince, souvent caillouteux. Les lithosols et sols squelettiques couvrent des surfaces importantes, en association avec des sols peu évolués d'érosion : sur des calcaires durs dans le Rif, le Haut Atlas oriental, les bordures du Moyen Atlas, l'Anti Atlas, les plateaux des phosphates et des Gantour, les Hauts Plateaux du Maroc oriental (où ils se trouvent sur des croûtes calcaires moulouyennes) ; sur des quartzites ou des grès dans le Rif, le Plateau Central, les Rehamna, l'Anti Atlas ; sur des roches éruptives acides dans le Haut Atlas occidental, l'Anti Atlas.

— *Les régosols* sont constitués de roches tendres ou facilement fragmentées, décapées par l'érosion. Contrairement aux lithosols, sur lesquels l'érosion est pratiquement arrêtée, les

régosols sont eux-mêmes attaqués : le ruissellement concentré en ravines y découpe des paysages de « bad lands ». Contrairement aussi aux lithosols, il est possible à une végétation de s'y réinstaller. Les régosols couvrent rarement des surfaces continues importantes, sauf dans le Rif. On les trouve associés à des sols peu évolués d'érosion et aux sols évolués climaciques, sur les principaux types de roches suivants : sur les marnes et calcaires tendres du Tortonien et du Sénonien, dans l'auréole des collines pré-rifaines et dans les bordures N et S du Haut Atlas, sur les schistes, schistes calcaires et marnes schisteuses (Flysch) dans le Rif et le Prérif ; sur des schistes primaires dans le Plateau Central, dans les entailles d'oueds de la Meseta côtière, dans la bordure méditerranéenne du Rif, dans les massifs des Rehamna et des Jbilet, dans l'Anti Atlas ; sur les formations rouges meubles et les dolérites du Permo-Trias, dans le Haut Atlas occidental, dans la haute vallée de l'Oum er Rbia et de ses affluents, dans la bordure N du Plateau Central.

b. Les sols d'apport fluviatile : Ces sols qui ne couvrent pas de très grandes surfaces au Maroc, sont importants pour l'agriculture à cause de leur profondeur et de la proximité de l'eau des oueds, qui permet de les irriguer facilement.

— *Les sols minéraux bruts*, correspondant à des zones où l'alluvionnement se poursuit actuellement, sont peu importants. Les basses terrasses inondables du lit majeur de certains oueds sont parfois cultivées malgré la texture grossière de leurs sédiments. Les zones inondables de la plaine du Gharb reçoivent, lors de fortes crues de l'oued Sebou, des couches de limon d'épaisseur variable (quelques cm à quelques dm exceptionnellement). Un type original de sol minéral brut d'apport est constitué par le « limon des palmeraies » du SE marocain, apporté par les eaux de crue des oueds avec lesquelles les fellahs irriguent leurs champs ; dans la plaine du Tafilalt, on a calculé que l'épaisseur du sol ainsi formé atteint 0,5 à 1 mètre par siècle. Les limons de palmeraie prennent rapidement, sous l'influence des cultures, des caractères de faible évolution (structure, salure, matière organique).

— *Les sols peu évolués* se trouvent principalement sur les terrasses non inondables du Rharbien ancien et récent qui bor-

dent les oueds. Dans les régions arides, les sols sur dépôts sol-taniens sont également peu évolués. Dans la plaine du Gharb, ils se forment sur les bourrelets alluviaux un peu surélevés qui encadrent les lits du Sebou et de ses affluents. Ces sols ont des textures variées ; on voit souvent dans leur profil des superpositions de sédiments. Ils sont le plus souvent calcaires. Les zones les plus importantes de sols peu évolués d'apport fluvial sont les suivantes : la plaine du Gharb, les vallées de l'oued Sebou et de ses affluents, la vallée de l'oued Loukkos où les sols (*dess*) sont calcaires, limoneux ou argileux, parfois vertiques ou hydromorphes, parfois salés ; les vallées des oueds Fahrer et Bouchane, dans les Doukkala, où les sols sont limoneux et non calcaires (*faïd*) ; la plaine du Souss, aux sols limoneux et calcaires ; la vallée de la Moulouya et les Hauts Plateaux de l'Oriental, aux sols calcaires.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- AUBERT, G. et PH. DUCHAUFOUR — 1956. Projet de classification des sols. — C.R. VI^e Congrès international de la Science du Sol, Paris, D., pp. 597-604.
- AUBERT, G. — 1965. Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols, utilisés par la Section de pédologie de l'ORSTOM. — Cahiers O.R.S. T.O.M., Pédologie, Vol. III, fasc. 3, pp. 269-288.
- BEAUDET, G., J. MARTIN et G. MAURER — 1964. Remarques sur quelques facteurs de l'érosion des sols. — C.R. des journées d'étude sur l'érosion du sol ; Fes, avril 1964, Revue de Géographie du Maroc, Rabat, n^o 6, pp. 65-72.
- BEAUDET, G., G. MAURER et A. RUELLAN — 1966. Le Quaternaire marocain. Observations et hypothèses nouvelles. — Rev. Géog. phys. et géol. dynam., Vol. 9, fasc. 4, pp. 269-309.
- BRYSSINE, G. — 1949. Les facteurs climatiques de la pédogénèse au Maroc. — Les cahiers de la Recherche Agronomique, Rabat, 2, pp. 43-71.

- BRYSSINE, G. — 1954. Typologie des sols du Maroc. — Société des sciences naturelles et physiques du Maroc, Travaux de la section de pédologie, t. 8-9, pp. 87-129.
- 1956. Réflexions sur la classification des sols. — Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc, Travaux de la section de pédologie, t. 10-11, pp. 81-103.
- 1965. Les propriétés physiques des tirs du Gharb. — Les cahiers de la recherche agronomique, Rabat, 20, pp. 87-279.
- CAVALLAR, W. — 1950. Etude des sols des différentes régions du Maroc. — Société des Sciences Naturelles du Maroc, Travaux de la Section de pédologie, t. 1, pp. 19-45.
- 1950. Esquisse préliminaire de la carte des sols du Maroc. — Carte au 1/1 500 000.
- CHOUBERT, G. et collaborateurs — 1950 à 1959. Carte géologique du Maroc au 1/500 000. — Direction des Mines et de la géologie, Rabat.
- 1956. Lexique stratigraphique du Maroc. — Direction des mines et de la géologie, Rabat, Notes et mémoires N° 134, 165 p.
- DUPONT, J.P. — 1951. La classification pédologique du professeur HUGUET DEL VILLAR et les sols d'Afrique du Nord. — Société des Sciences Naturelles du Maroc, Travaux de la Section de Pédologie, t. 2-3, pp. 1-15.
- GAUCHER, G. — 1948. Sur quelques conditions de formation des croûtes calcaires. — C.R. Ac. des Sc., t. 227, pp. 215-217.
- 1948. Sur la notion d'optimum climatique d'une formation pédologique. — C.R. Ac. des Sc., T. 227, pp. 290-292. pp. 290-292.
- GIGOUT, M. — 1960. Nouvelles recherches sur le Quaternaire marocain et comparaisons avec l'Europe. — Travaux du Laboratoire de géologie de la Faculté des Sciences de Lyon, nouvelle série, N° 6, 145 p.
- HESS, C. et U. SCHOEN — 1964. Tirsification et classification des vertisols. Apport de l'analyse minéralogique des argiles

- à la connaissance des tirs. — Al Awamia, Rabat, 13, pp. 41-92.
- IONESCO, T. — 1964. Considérations générales concernant les relations entre l'érosion et la végétation du Maroc. — C.R. des journées d'étude sur l'érosion du Sol, Fes, avril, Revue de Géographie du Maroc, N° 6, pp. 17-28, Rabat.
- JOLY, F. — 1962. Etudes sur le relief du Sud-Est marocain. — Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Paris, 578 p.
- MARGAT, J. — 1960. Carte hydrogéologique au 1/50 000 de la plaine du Tafilalt. II. Hydrochimie. — Direction des Mines et de la Géologie, Rabat.
- PUJOS, A. — 1953. Réflexions sur la rubéfaction des roches et des sols dans le Nord marocain et le Maroc Oriental. — Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc, Travaux de la section de Pédologie, t. 6-7, pp. 95-105.
- 1957. Terres rouges, noires, grises. — Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc, Travaux de la Section de pédologie, t. 12, pp. 71-96.
- RADANOVIC, R. et O. YOVANOVIC — 1963. Aménagement de la région du Tafilalt. — Rapport général préliminaire. Pédologie, t. 1, Office National des Irrigations, Rabat.
- RUELLAN, A. — 1964. Les sols salés et alcalisés en profondeur de la plaine du Zebra : premiers résultats d'une expérimentation destinée à étudier leur amélioration et leur évolution sous irrigation. — VIII° Congrès International de la Sc. du Sol, Bucarest.
- 1966. Les sols isohumiques et accumulations du calcaire en Basse Moulouya et dans l'ensemble du Maroc. Description, pédogénèse et classification. — En cours d'impression.
- SAUVAGE, CH. — 1963. Atlas du Maroc, étages bioclimatiques. — Notice explicative, Comité national de géographie du Maroc, Rabat.
- U.S.D.A. — 1960. Soil classification. — Comprehensive system. 7th. approximation.

- WILBERT, J. — 1962. Croûtes et encroûtements calcaires au Maroc. — Al Awamia, Rabat, **3**, pp. 175-192.
- WILBERT, J. — 1962. Un sol marocain polyphasé : le merzag d'Ellouizia. — Al Awamia, Rabat, **4**, pp. 163-177.
- WILBERT, J. — 1965. Localisation géographique de la tirsification au Maroc. — Les cahiers de la recherche agronomique, Rabat, **20**, pp. 1-22.
- WILBERT, J. — 1965. Tirs et sols tirsifiés au Maroc. — Les cahiers de la recherche agronomique, Rabat, **20**, pp. 23-85.